

넓은 해영역에서의 GA를 이용한 PID 제어기 게인 조정에 따른 개체수와 세대수 파라미터의 특징에 관한 연구

The Study of a Population and Generation Parameter's Characteristics on PID Gain Tuning with GA in Wide Solution Area

정황훈*†

Hwang Hun Jeong*†

(Received 06 March 2017, Revision received 15 June 2017, Accepted 15 June 2017)

Abstract: A GA is one of the best method to find optimal value in searching area. A GA is driven by probabilistic selection that based on the survival of the fittest. So this algorithm need a huge solving time even if it can be used lots of optimizing problem such as structural design, machine learning, system's identification and so on. This GA's characteristic constrain the program to drive offline. Some studies try to use this algorithm on online or reduce the GA's running time with parallel GA or micro GA. Unfortunately these studies still didn't reduce amount of fitness solving.

If the chromosome was imported to the system, it affected system's stability. And when the control system uses online GA, it also doesn't have enough learning time. In this study, try to find stability criterion to reduce the chromosome's affection and find the characteristic of the number of population and generation when GA was driven into the wide searching area.

Key Words : Modified PID Controller, Genetic Algorithm, Gain tuning

1. 서 론

유전알고리즘(Genetic Algorithm)은 다윈의 적자 생존경쟁이라는 자연 현상을 모방하여 목적함수에 최적인 해를 확률적으로 탐색하는 최적 알고리즘이다. 방대한 탐색영역을 가지는 문제에 대하여 최적해를 구하는데 장점을 가지는 유전알고리즘은 구조물의 최적 형상을 구하거나¹⁾, 시스템의 동정²⁾, 퍼지(Fuzzy) 제어기의 모델링³⁾, 인공 신경

망(Neural Network)의 학습⁴⁾ 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 하지만 유전알고리즘의 경우 해집단을 운용하기 때문에 다른 최적화 알고리즘에 비하여 많은 반복 계산과 이에 따른 연산 시간이 필요한 단점을 가지고 있다.⁵⁾ 최적해를 구하는데 소요되는 시간을 줄이기 위하여 이전의 연구에서는 병렬 유전알고리즘(Parallel GA), μ GA(Micro GA) 등이 활용되고 있다.

많은 연산이 필요한 유전알고리즘은 보통 오프

*† 정황훈(교신저자) : 건설기계부품연구원 친환경기술
본부
E-mail : hwanghun@koceti.re.kr, Tel : 064-447-2523

*† Hwang Hun Jeong(corresponding author) : Fluid Power
System Laboratory, Research Division for Green Technology,
Korea Construction Equipment Technology Institute.
E-mail : hwanghun@koceti.re.kr, Tel : 064-447-2523

라인(off line)으로 구현되어지고 있으나, 이를 온라인(on line)으로 구현하기 위해 일부 연구가 진행되고 있다.^{6,11~15)} 피드백 시스템의 제어를 개선할 때 동조시키는데 유전알고리즘을 온라인으로 구현하기 위해서는 먼저, 최적해를 구하는데 소요되는 연산의 수가 작아야 한다. 시스템이 느릴 경우 유전알고리즘을 이용하여 학습하는데 소요되는 시간이 너무 커버릴 수 있기 때문이다.⁷⁾ 또한 계산 도중 조합되는 각 염색체들의 값이 시스템의 응답에 큰 영향을 주지 않아야 한다. 오프라인의 경우 계산된 염색체에 의한 시스템 응답에 대해 간단히 대응할 수 있으나, 온라인의 경우 시스템에 직접적으로 큰 영향을 끼치기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 다단 비례 압력 제어밸브를 모델로 하여 시스템에 큰 영향을 끼치지 않는 염색체의 범위를 계산하고, 이를 활용한 유전알고리즘을 통해 수정된 PID 제어기의 계수를 찾는 것을 목적으로 한다. 또한 넓은 탐색 영역을 가진 유전알고리즘에 대해 개체수와 세대수의 경향을 시뮬레이션을 통해 확인하고, 향후 온라인 유전알고리즘을 구현하는데 활용하고자 한다.

2. 제어 시스템의 안정범위

2.1 PID제어기를 가지는 1차 시스템

시정수 τ 를 가지는 일반적인 1차 시스템은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, PID 제어기는 식 (2)와 같이 둘 수 있다.

$$G(s) = \frac{1}{1 + \tau s} \quad (1)$$

$$C(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Fig. 1은 식 (1)과 같은 일반적인 1차 시스템에 대하여 식 (2)와 같은 PID 제어기를 활용한 폐루프 시스템의 블록선도이다.

Fig. 1과 같은 시스템의 특성방정식을 구하면 식 (3)과 같으며, 이를 루이스 안정 판별법을 통해 시스템의 안정영역을 구하면, 식 (4)와 같다.

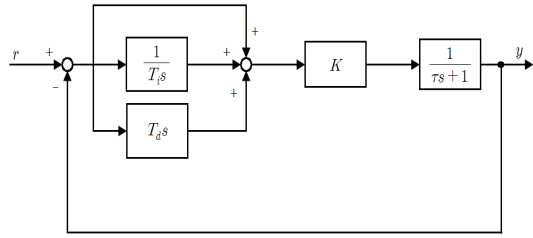


Fig. 1 Block diagram for 1 order's system with PID controller

$$T_i(KT_d + \tau)s^2 + T_i(K + 1)s + K = 0 \quad (3)$$

$$K > 0, \quad T_i > 0, \quad T_d > -\frac{\tau}{K} \quad (4)$$

일반적으로 유압밸브 시스템은 시간지연을 가지는 단순 1차계로 가정할 수 있으며, 이전의 연구를 통해 다단 비례 압력 제어밸브를 식 (5)와 같이 가정할 수 있다.

$$G(s) = \frac{e^{-3s}}{1 + 2s} \quad (5)$$

$$G(s) = \frac{1}{2s + 1} \quad (6)$$

PID 제어기 계수를 조정할 때에는 시간지연 e^{-3s} 부분을 고려하지 않은 식 (6)의 시스템을 활용한다.

2.2 수정된 PID제어기

식 (2)와 같은 PID제어기는 제어기 내 미분기를 직접가지고 있기 때문에 시스템이 직접 적용되는 Field 환경에서는 환경 노이즈에 민감한 특성을 보인다. 이에 따라 Pade의 근사화와 같은 방법을 통해 순수한 미분항을 근사적으로 처리한다. 본 연구에서는 수정된 PID제어기를 식 (7)과 같이 정의한다.⁸⁾

$$u(t) = K(b y_r(t) - y(t)) + \frac{K}{T_i s} (y_r(t) - y(t)) - \frac{KT_d s}{1 + \frac{N}{T_d s}} y(t) \quad (7)$$

여기서, b 는 기준입력에 따른 비례 게인에 영향을 미치는 계수이며, N 은 미분기의 게인을 제한하는 역할을 하는 계수이다.

Fig. 2는 식 (6)과 같은 다단 비례 압력 제어밸브에 대하여 수정된 PID 제어를 활용한 폐루프 시스템의 블록선도이다.

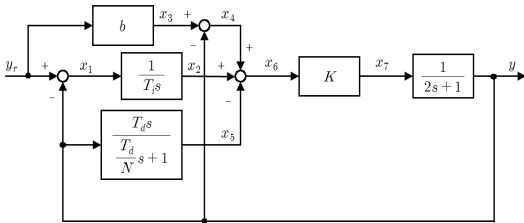


Fig. 2 Block diagram for multi-stage proportional pressure control valve system with modified PID controller

Table 1 parameter boundary when overshoot is less than 40% of reference input

Parameter		value				
K						
0.1	T_i	0.001	-	-	-	-
	T_d	0.0530	-	-	-	-
1	T_i	0.001	0.8532	0.0788	-	-
	T_d	0.1743	0.1172	4.1753	-	-
10	T_i	0.001	0.1172	0.1743	0.2593	0.3857
	T_d	0.0788	0.0530	0.0356	0.0240	0.0161
100	T_i	0.001	0.0108	0.0161	0.0240	0.0356
	T_d	0.0108	0.0073	0.0049	0.0033	0.0022

Fig. 3은 K 의 값이 0.1, 1, 10, 100이고, T_i , T_d 값이 0.1에서 100까지 logscale로 30개씩 나뉘었을 때, 30 s 동안 각 조건에 따른 스텝응답의 최대치를 나타낸 그림이다.

각 조건의 계산으로부터 K , T_i , T_d 를 0.02보다 크게 둔다면 적어도 overshoot의 크기가 60%를 넘지는 않는 것으로 확인되었다.

3. PID 제어기 게인 조정

3.1 GA 파라미터의 선정

수정된 PID 제어기의 게인을 구하기 위해 해의 탐색범위는 Table 2와 같이 정의하였다. 실수 코딩 유전알고리즘을 사용하였으며, 유전 연산자로는 Gradient-like selection, Modified simple crossover(교배 확률 0.9), Dynamic mutation(돌연변이 확률 0.1)을 사용하였으며, Elitism 및 scaling window scheme를 사용하였다.^{9,10)}

GA의 적합도를 계산하기 위한 목적함수는 식 (8)과 같다.

$$F_{obj} = \int_0^{30} (e(t) + u(t)) dt \quad (8)$$

여기서, $e(t)$ 는 스텝응답에 따른 오차이며, $u(t)$ 는 수정된 PID제어기의 출력이다.

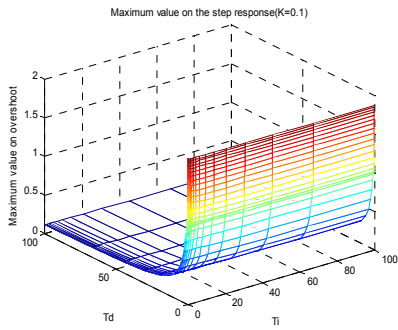
3.2 GA 시뮬레이션의 목적과 결과

시뮬레이션의 목적은 수정된 PID 제어기 게인의 조정과 넓은 탐색영역을 가진 문제에 대해 동일한 적합도 계산수를 가지는 유전알고리즘에서의 개체수와 세대수의 경향을 확인하는 것이다.

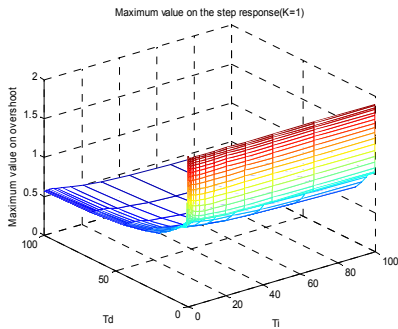
Fig. 2와 같이 제안된 시스템에 대해 조정되는 게인의 수는 Table 2에서처럼 5개이다. 일반적으로 3개의 PID 게인을 조정하는 것에도 많은 시행착오가 필요하며, 5개의 PID 게인을 찾는 것은 쉽지 않은 일이다. 첫 번째 시뮬레이션에서는 1,000개의 개체수를 가지고, 500세대의 진화를 거듭하는 실수 코딩 유전알고리즘을 구동한다. 이를 통해 선택된 범위 내의 최적점을 찾고, 이후 수행되는 시뮬레이션의 기준 값으로 삼는다.

Fig. 4는 1,000개의 개체수를 가지고, 500세대의 진화를 수행한 실수 코딩 유전알고리즘의 결과에 따른 시스템의 스텝응답을 나타낸 그림이다. 이때, 각 변수의 값은 4.0841(b), 14.0177(N), 0.2258(K), 0.9705(T_i), 0.3285(T_d)이다.

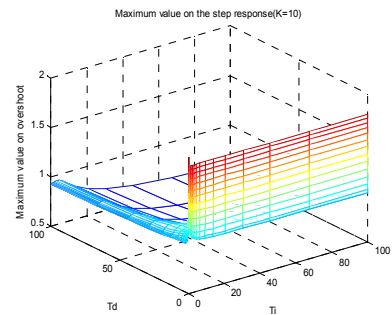
다음으로 넓은 탐색영역을 갖는 유전알고리즘에 대하여 확인하는 이유는 online으로 유전알고



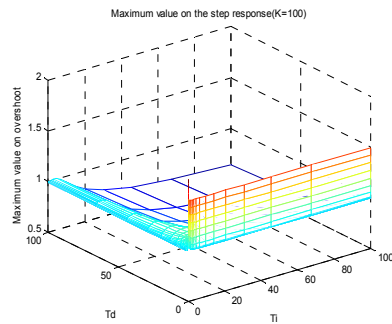
(a) K=0.1



(b) K=1



(c) K=10



(d) K=100

Fig. 3 Maximum value for step response

리즘을 구동할 경우 1번의 적합도 연산은 실제 시스템을 시뮬레이션에서 정한 시간만큼 1번 구동해야 얻을 수 있는 값이다. 즉, 유한한 학습 시간을 가지는 온라인 유전알고리즘에 대해 적합도 연산은 제한될 수 밖에 없으며, 보다 학습 결과가 좋기 위해서는 지역 해에 빠질 수밖에 없을 정도의 개체수 또는 세대수를 가지는 유전알고리즘에 대해 시뮬레이션을 수행하고, 그 경향을 파악해야만 한다.

Fig. 5는 Fig. 4에서 선정한 것보다 작은 크기의 개체수, 세대수를 가지는 실수 코딩 유전알고리즘에 대해 시뮬레이션한 결과 값을 나타낸 그래프이며, 해당 시뮬레이션에 따른 목적함수 결과 값을 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Search area of modified PID controller

Parameter	Range	
	From	To
b	2.5	4.5
N	10	15
K	0.02	1
T_i	0.02	1
T_d	0.02	1

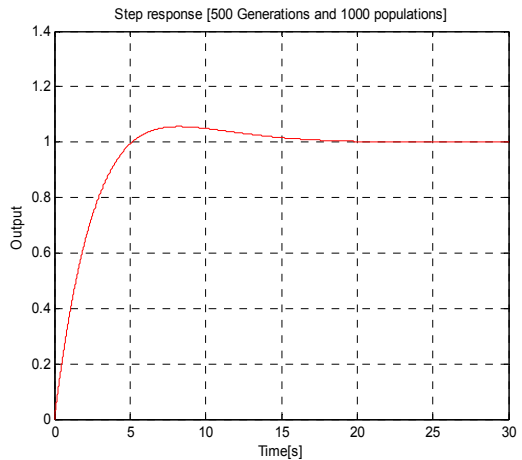


Fig. 4 Step response
[1,000 populations, 500 generation]

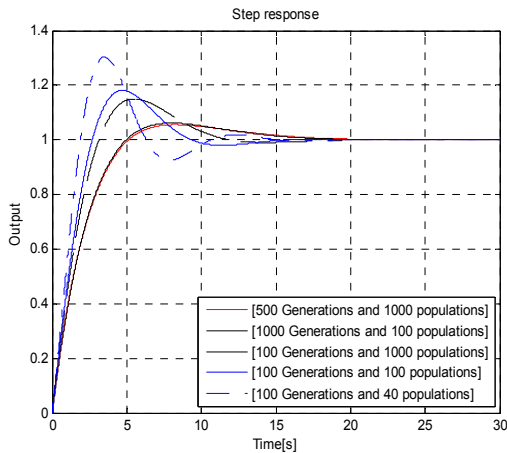


Fig. 5 Step response

Table 3 Search result of modified PID controller

Fitness No.	Set		Object function[x10 ⁴]	
	Generation	Population	Result	Error
500,000	500	1,000	1.8747	-
100,000	1,000	100	2.8533	-0.9786
	100	1,000	1.8847	-0.0100
20,000	1,000	20	2.9719	-1.0972
	400	50	2.9264	-1.0517
	200	100	2.8565	-0.9818
	100	200	2.7237	-0.8490
10,000	1,000	10	2.9866	-1.1119
	500	20	2.9719	-1.0972
	200	50	2.9258	-1.0511
	100	100	2.8572	-0.9825
4,000	1,000	4	2.9955	-1.1208
	500	8	2.9895	-1.1148
	200	20	2.9720	-1.0973
	100	40	2.9444	-1.0697
2,000	500	4	2.9956	-1.1209
	200	10	2.9866	-1.1119
	100	20	2.9717	-1.0970
1,000	250	4	2.9956	-1.1209
	100	10	2.9867	-1.1120
	50	20	2.9719	-1.0972
400	100	4	2.9955	-1.1208
	50	8	2.9911	-1.1164
	20	20	2.9737	-1.0990
200	50	4	2.9973	-1.1226
	20	10	2.9874	-1.1127
100	25	4	4.3277	-2.4530
	10	10	2.9895	-1.1148

Fig. 5에서 보이는 것처럼 적합도의 계산 횟수가 10,000번 이하로 떨어질 경우 적합도 연산을 위한 충분한 탐색을 수행할 수 없어 지역 해에 수렴하는 결과를 얻을 수 있다.

또한 Table 3에서 보는 것처럼 적합도 계산 횟수에 비해 넓은 탐색영역을 갖는 유전알고리즘의 경우 세대수를 늘리는 것보다는 개체수를 늘리는 것이 보다 최적 값에 가까운 값을 찾을 수 있는 경향을 보이고 있다.

4. 결론

1) 본 연구에서는 다단 비례 압력 제어밸브를 대상으로 하는 수정된 PID 제어기의 게인을 조정하기 위해 안정한 출력을 낼 수 있는 변수의 범위를 루이스 안정도 판별 및 특정 범위 내의 스텝 응답을 통해 확인하였고, 이를 실수 코딩 유전알고리즘의 염색체 탐색 범위에 활용하였다.

2) 또한 온라인 유전알고리즘을 구현하는데 필요한 개체수와 세대수의 경향에 대하여 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그 결과 온라인 유전알고리즘을 활용한 시스템처럼 학습에 필요한 시간이 제한된 시스템의 경우보다 최적의 결과를 얻기 위해 한정된 적합도 계산 횟수에 대해 세대수의 증가시키기보다는 개체집단의 크기를 증가시키는 것이 더욱 타당하다고 판단된다.

3) 향후 온라인 유전알고리즘을 실현하기 위해서는 보다 적은 적합도 연산이 가능한 유전알고리즘 형태를 파악하기 위해 PGA, μ GA 등 다양한 기법에 대해서도 시뮬레이션 할 필요가 있으며, 이를 마이크로 프로세서를 통해 실험할 필요가 있다.

References

1. B. H. Woo and H. S. Park, 2002, "Distributed Hybrid Genetic Algorithms Based on Micro Genetic Algorithms for Structural Optimization", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 2, pp. 15-18.

2. J. N. Choi and S. K. Oh, 2007, "Identification of Fuzzy System Driven to Parallel Genetic Algorithm", Information and Control Symposium, April 2007, pp. 201-203.
3. S. H. Jung, J. N. Choi, S. K. Oh and H. K. Kim, 2009, "Design of Optimized Fuzzy PD Cascade Controller Based on Parallel Genetic Algorithm", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 19, No. 3, pp. 329-336.
4. J. H. Yang, H. H. Jeong, G. H. Choi and G. G. Jeong, 2004, "The Study of F-NFS's Learning Method with GA", the 2004 Annual fall conference on the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 370-376.
5. J. H. Lee and M. W. Suh, 2014, "Development of Optimization Algorithm Using Sequential Design of Experiments and Micro- Genetic Algorithm", Transactions of Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 38, No. 5, pp. 489-495.
6. J. H. Lee and H. K. Lee, 2010, "Online Ga-Based Nonlinear System Identification", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 20, No. 6, pp. 820-824.
7. Alfredo Nilani, 2004, "Online Genetic Algorithms", International Journal of Information Theories & Application, Vol. 11, pp. 20-28.
8. N. O. Seul, M. S. Shin and C. G. Lee, 1995, "A Study on the Design of Simple Auto-tuning PID Controller", The 1995 Annual Summer Conference on the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 795-797.
9. G. G. Jin, 2000, "Genetic Algorithms and Their Applications, 1st Edition", Gyo Woo Sa, pp. 245-259.
10. David. E. Goldberg, 1989, "Genetic Algorithms In Search, Optimization and Machine Learning, 1st Edition", Addison-Wesley Publishing Company, pp. 166-208.
11. Tarek A. El-Mihoub, Adrian A. Hopgood, Lars Nolle and Alan Battersby, 2006, "Hybrid Genetic Algorithms : A Review", Engineering Letters of Advance online Publications, 13:2, EL_13_2_11.
12. D. W. Kim, G. H. Hwang, H. J. Hwang, J. L. Nam and J. H. Park, 1999, "A Design of the Robust Servo Controller for DC Servo-Motor Using Genetic Algorithm", The 1999 Annual Summer Conference on the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 19-21.
13. J. K. Kim, S. C. Hahn, C. G. Lee and H. K. Kim, 2008, "Optimal Design of Permanent Magnet Actuator Using Parallel Genetic Algorithm", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 57, No. 1, pp. 40-45.
14. M. H. Kang, T. E. Koh and C. G. Lee, 2002, "Optimal Design of brushless DC motor using Parallel Genetic Algorithm", The 2002 Annual Summer Conference on the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 166-168.
15. W. B. Kil and S. G. Lee, 2003, "A Two-Phase Parallel Genetic Algorithm", The 2003 Annual spring Conference on the Korea Information Science Society, pp. 40-42.